PROCESSOS TECNOLÓGICOS SUSTENTÁVEIS: O SISTEMA DE TORREFAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE BIOCARVÃO NO BRASIL

Isabela Mariana Felipelli Barreto (PUC)
isabelaf81@gmail.com
Fernando Fabricio Lopes Eller de oliveira (FAP)
e.fernandofabricio@gmail.com
Joao Evangelista de Almeida Saint-Yves (PUC)
jeasyves@pucminas.br
EUGENIO BATISTA LEITE (PUC)
probetim@pucminas.br



Neste artigo será apresentado o processo de torrefação para a produção de biocarvão no Brasil. O processo, que ainda é incipiente na Europa e Estados unidos promete uma tecnologia limpa para produzir um biocarvão eficiente e sustentável parra uso em termelétricas. Além disso, os resíduos do processo podem ser reaproveitados para fins de geração de energia elétrica e aquecimento de equipamentos da própria planta industrial. Os métodos utilizados para a realização dessa investigação foram pesquisas bibliográficas, observação direta e entrevistas a uma empresa produtora de biocarvão, situada na Europa. No decorrer do trabalho, foi realizada uma comparação entre as principais propriedades do biocarvão e carvão mineral (atualmente utilizado nas termelétricas) a fim de se comprovar a eficiência energética do produto apresentado. Ademais, foi feito um breve estudo sobre as emissões de CO2 durante a queima de ambos os combustíveis, para um melhor entendimento sobre os ganhos que o biocarvão oferece em termos de sustentabilidade. Outros aspectos também foram avaliados com base em experiências e estudos de empresas produtoras. Por fim, foi possível observar que o biocarvão apresenta-se como uma excelente alternativa de biocombustível para as termelétricas de todo o mundo e seu processo produtivo, altamente sustentável, pode ser muito promissor para o mercado brasileiro.

Palavras-chave: Torrefação, biocarvão, termelétricas, sustentabilidade

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

1. Introdução

Os recursos fósseis foram os grandes propulsores das economias de todo o mundo durante muito tempo. Eles proporcionaram a industrialização e tiraram milhares de pessoas da pobreza. Entretanto, o Green Peace (2017) ressalta que o dióxido de carbono (CO_2) liberado durante a queima desses combustíveis é um dos responsáveis pelo efeito estufa, que gera centenas de problemas ambientais, como por exemplo, o aumento da temperatura da superfície terrestre, elevação do nível dos oceanos, alteração no sistema de chuvas, entre outros.

Assim, ações para a mitigação da degradação ambiental tornaram-se uma necessidade a nível mundial. O Green Peace (2017) destaca o uso de fontes energéticas renováveis para a produção de energia elétrica como uma das soluções para a redução do problema. Recursos como a energia eólica, solar e biomassa podem contribuir fortemente para uma matriz energética diversificada e eficiente. Além disso, essas ações contribuem para que o país alcance as metas de sustentabilidade propostas no último Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, organizado pela ONU/ Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e WMO/ Organização Mundial de Meteorologia, também chamada de Conferência entre das Partes - COP 21 Paris – novembro/dezembro de 2015, que teve como objetivos principais: instituir a transição para a economia de baixo carbono, garantir um futuro climático seguro com viabilidade economica e ecológica, evitar que o avanço da temperatura global ultrapasse os 2 graus e promover medidas imediatas, com validade local e global. Nessa conferência, o Brasil se propôs a reduzir significativamente suas emissões de CO_2 até o ano de 2025, definindo como principal estratégia a expansão do uso de fontes alternativas de geração de energia.

Nesse sentido, esse artigo tem como objetivo principal apresentar e discutir as vantagens de uma nova tecnologia baseada no uso de biomassa: A produção de biocarvão pelo processo de Torrefação. O processo converte biomassa em biocarvão utilizando um reator específico. O produto final agrega as características de combustão do carvão mineral e os benefícios sustentáveis da biomassa para ser utilizado em termelétricas, contribuindo para a construção de um futuro mais sustentável e uma economia de baixo carbono para o Brasil.

2. Metodologia

Para a realização deste trabalho, foram tratados dados de natureza qualitativa, obtidos por meio de uma pesquisa descritiva. Soares (2003) menciona que na abordagem qualitativa o pesquisador interpreta os fatos e procura soluções para o problema proposto. O estudo de caso apresentado neste artigo englobou as seguintes etapas:

a) Revisão bibliográfica: Nesta fase, foram coletadas informações relacionadas ao assunto por meio de pesquisas bibliográficas e dados de instituições do Brasil e do exterior. Também foram utilizados relatórios de empresas do ramo de torrefação, para a obtenção de dados técnicos de produtos e processos;
b) Análise de dados: A partir dos dados obtidos na revisão bibliográfica, foi feita uma análise comparativa entre dois produtos: pellets torrificados e carvão mineral, a fim de se comprovar a viabilidade do uso do biocarvão nas termelétricas;
c) Entrevista não estruturada a uma empresa produtora de biocarvão: Foi realizada uma entrevista com uma empresa produtora de biocarvão para fins de esclarecimento de dúvidas. A entrevista foi informal e, portanto, não foi utilizado nenhum formulário ou documento formal de pesquisa;

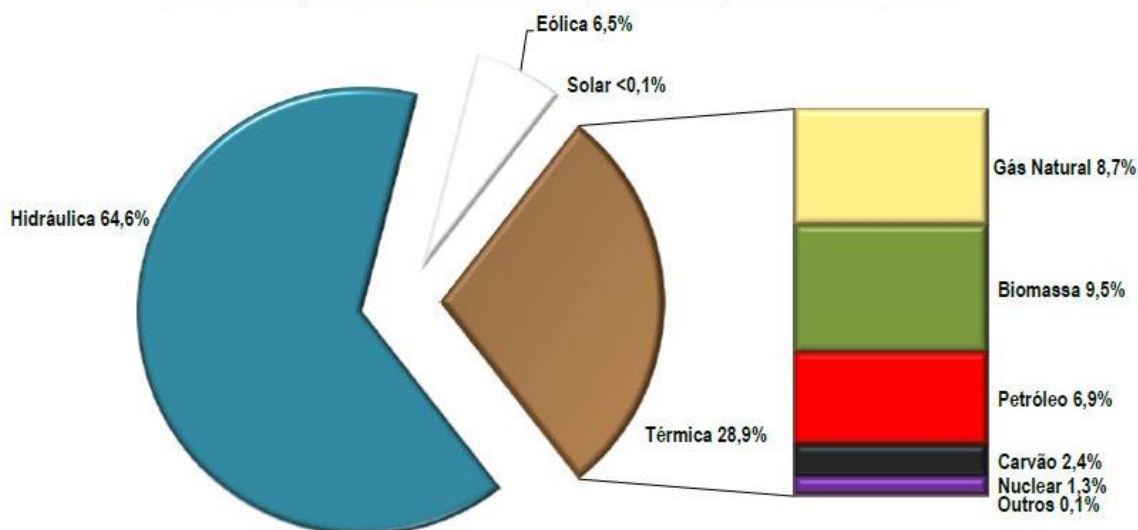
d) Observação direta: Uma empresa europeia, cujo principal objetivo é produzir biocarvão e eletricidade utilizando a torrefação da biomassa, concedeu aos autores autorização para observar seu processo durante três meses, a fim de que pudessem compreender claramente o sistema e suas variáveis. É importante ressaltar que a organização optou por manter sua razão social em sigilo.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 A matriz energética brasileira

De acordo com Brasil (2016), no final do ano de 2016 a matriz elétrica brasileira atingiu 150.410 MW de capacidade instalada, sendo 64,6% proveniente de hidrelétricas e 28,9% de termelétricas distribuídas entre usinas de biomassa (9,5%), gás natural (8,7%), Petróleo (6,9%), carvão (2,4%), usinas nucleares (1%) e outros combustíveis fósseis (0,1%). A geração eólica e solar corresponde a aproximadamente 6,5% da potência instalada. O Gráfico 1 ilustra a composição da matriz de geração de energia elétrica brasileira.

Gráfico 1 - Matriz de geração de energia elétrica brasileira



Fonte: Brasil (2016)

Para o Grupo Neoenergia (2013) a opção brasileira por hidrelétricas ocorre em virtude da existência de grandes rios de planalto e significativa reserva de água doce do país. Além disso, o baixo custo operacional desse tipo de empreendimento é um fator decisivo, que ainda conta com menor emissão de CO_2 quando comparado às termelétricas.

Em seguida, têm-se as usinas termelétricas movidas a gás natural e biomassa. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2008), cita que a opção pelo gás natural acontece devido ao seu baixo teor de poluentes quando comparado a outros combustíveis fósseis. Do mesmo modo, a utilização da biomassa acontece primeiramente pela grande disponibilidade desses recursos no Brasil e em segundo lugar pelo balanço quase nulo das emissões de carbono durante a queima. Tumuluru et al (2011) defendem que a energia produzida a partir da biomassa é considerada praticamente livre de carbono, uma vez que o CO_2 liberado durante a conversão já é parte do ciclo de carbono da matéria prima.

Outras fontes de energia, como eólica e solar possuem menor representatividade na matriz elétrica do país, devido a fatores como, por exemplo, baixa eficiência e alto custo de instalação quando comparadas a outras fontes.

Usinas alimentadas por derivados de petróleo ou carvão também contribuem pouco para a matriz brasileira, pois, além de possuírem alto custo de operação, emitem grandes quantidades de gases tóxicos, como o dióxido de carbono (CO_2), enxofre (SO_2) e os óxidos de nitrogênio (NO_X). Apesar da pouca contribuição, pode-se afirmar que essas usinas são fundamentais para a manutenção da matriz elétrica do país, uma vez que elas garantem o abastecimento ininterrupto de energia em épocas de escassez dos recursos hídricos.

Para Goldemberg e Lucon (2005, p.217) "a energia de um país deverá provir de diversas fontes energéticas, uma vez que, por razões de segurança de abastecimento, é mais interessante depender de vários energéticos primários, do que de apenas um ou dois." Considerando essa ideia, o Brasil deve avaliar a possibilidade de ampliação das fontes energéticas alternativas, como a biomassa, por exemplo, um recurso de baixo custo e muito abundante em todo o território nacional.

3.2 A biomassa no Brasil

Nos últimos anos o Brasil tem enfrentado inúmeros desafios relacionados à mitigação de impactos ambientais, causados principalmente pelas emissões de CO_2 e outros gases do efeito estufa. Diante disso, a biomassa tem se firmado no país como uma fonte alternativa de energia, substituindo de forma sustentável os recursos fósseis causadores de poluição. De acordo com a ANEEL apud União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA) (2017), a biomassa atualmente é responsável pela produção de 14609 MW da potência instalada no país.

A UNICA (2017) relata que a fonte de biomassa mais utilizada no Brasil é o bagaço de cana, com 75% da produção de energia elétrica dentro da biomassa. Em seguida, fontes menos significativas tais como a lenha (22,55%), resíduos sólidos urbanos (0,81%), capim elefante (0,45%) e casca de arroz (0,31%) também contribuem para a geração de eletricidade.

Marconato e Santini (2008) citam que "a vasta extensão territorial e a abundância de biomassas geradas por resíduos vegetais, como plantas, madeira e oleaginosos, favorecem o Brasil na transição das fontes tradicionais pelo uso da biomassa." A ANEEL (2005) menciona que "a produção de madeira, em forma de lenha, carvão vegetal ou toras, por exemplo, gera uma grande quantidade de resíduos, que podem ser aproveitados na geração de energia para o Brasil".

Pesquisas recentes da Sociedade Nacional de Agricultura (2015) mostram que o eucalipto, espécie abundante em todo o território brasileiro, é uma biomassa de fácil manuseio e alta densidade energética, que pode ser utilizada de forma eficiente na geração de energia térmica e também como combustível para a geração de energia elétrica em indústrias, usinas termoelétricas e até na propriedade rural.

Dentro desta perspectiva, um processo altamente promissor vem sendo desenvolvido por empresas da Europa e Estados Unidos: A torrefação para a produção de biocarvão. Esse sistema produz um biocombustível eficiente e sustentável, comparável ao carvão mineral em termos de eficiência energética.

3.3. O processo de torrefação da biomassa para a produção de biocarvão

Prins et al (2006) mencionam que "a torrefação de biomassa pode ser definida como uma pirólise lenta que ocorre em um material quando submetido a uma faixa de temperatura entre 225 e 300ºC, a pressão ambiente e baixa concentração de oxigênio". "A atmosfera inerte é importante, uma vez que ela previne a ignição e oxidação da biomassa" (NORDIN ET AL apud ERIKSSON, 2012, p.14), garantindo um processo mais seguro e eficiente.

Berry e Hammer (2012) citam que o processo de torrefação traz como benefícios a produção de um combustível verde, denominado biocarvão, que substitui o carvão em usinas termelétricas, não exigindo nenhum tipo de investimento ou autorização para queimá-lo.

Conforme apresentado pela Topell Energy (2011, p.7), o biocarvão apresenta propriedades relevantes quando comparado ao carvão mineral, podendo-se destacar: alta eficiência energética, facilidade de compactação e moagem, maior estabilidade contra degradação biológica e oxidação química, baixo custo de matéria prima, melhor performance na combustão, fácil manuseio e baixos danos ao meio ambiente. Além disso, a alta densidade energética do material contribui para uma redução dos custos de processamento e transporte.

Para a realização dessa pesquisa, uma empresa foi entrevistada para a obtenção dados mais específicos sobre o processo. O principal objetivo dessa organização é produzir biocarvão e eletricidade utilizando a torrefação da biomassa. De acordo com o diretor operacional da planta industrial, o processo de torrefação segue de um modo geral, as etapas apresentadas na Tabela 1.

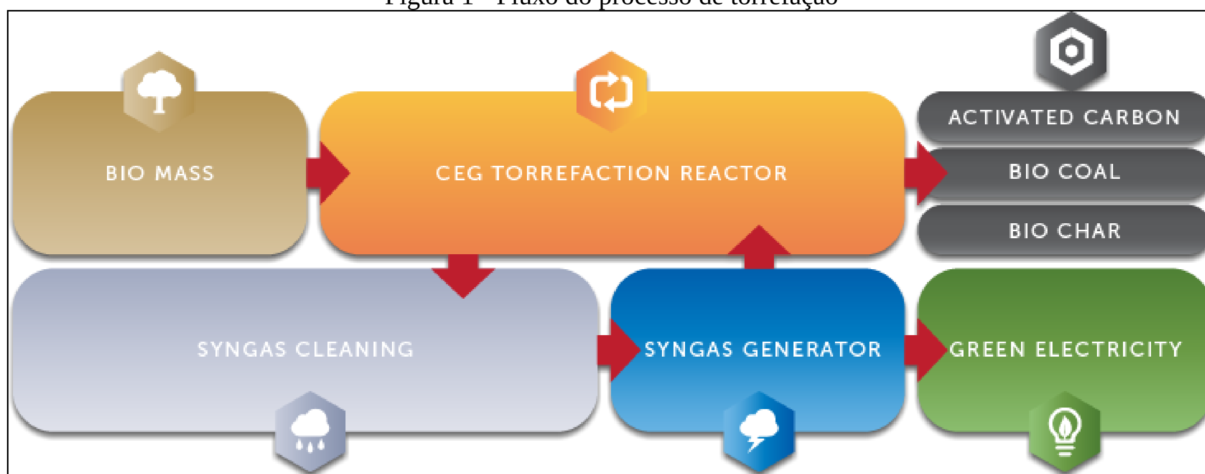
Tabela 1 – Etapas de produção do biocarvão

Etapa	Detalhamento	Figura
1- Seleção da matéria prima	A base para a produção de biocarvão é a biomassa, obtida através de lascas de madeira. Existem estudos voltados para a utilização de madeira reciclável no processo, entretanto, os melhores resultados foram obtidos por meio do processamento de "madeira virgem", ou seja, madeira nunca antes utilizada;	
2- Processamento	Inicialmente, a matéria prima é encaminhada a uma esteira desmagnetizadora, que irá retirar da biomassa eventuais impurezas metálicas. Em seguida, com o auxilio de uma esteira transportadora, as lascas são direcionadas a um silo de armazenagem que logo alimentará o reator com uma vazão mássica pré-estabelecida. Dentro do reator, a atmosfera é inerte, a fim de prevenir a ignição e oxidação da biomassa. Além disso, a temperatura de trabalho varia entre 225 e 300°C, dependendo das caracteristicas que se deseja obter no produto final. A plataforma do reator é vibratória, de modo a garantir que toda a madeira será carbonizada de maneira uniforme. Finalmente, o tempo de residência da biomassa no reator varia de 20 a 60 minutos;	
3- Resfriamento e Moagem	Ao final do tempo de residência no reator, o biocarvão é resfriado por camisas de refrigeração, nos transportadores helicoidais, a fim de evitar que ignições espontâneas ocorram. Então, o produto é automaticamente encaminhado à etapa de moagem, que garantirá um produto homogêneo;	
4- Pelletização	Finalmente, o produto é encaminhado à estação de "Pelletização", onde o biocarvão em pó se transformará em "pellets", que é uma versão compactada do produto. Tumuluru et al (2011) defendem que a torrefação combinada com a pelletização pode aumentar a densidade energética da biomassa cerca de 5 vezes e propicia ao material melhores caracteristicas de moagem e manuseio, além de melhores propriedades de combustão.	

Fonte: Elaborado pelos autores

Utilizando o mesmo reator de torrefação, também é possível obter produtos como o carvão vegetal, utilizado para fins agrícolas e carvão ativado para filtragem de água, uso médico, entre outros. O fluxograma mostrado na Figura 1 representa o fluxo do processo de torrefação da empresa CEG UK.

Figura 1 - Fluxo do processo de torrefação



Fonte: CEG (2017)

3.4. O aproveitamento do gás de produção para a geração de energia elétrica

De acordo com a International Energy Agency (IEA) (2012a), em um sistema de torrefação bem projetado e adequadamente operado, a energia contida nos gases de torrefação deve ser suficiente para suprir tanto o processo de secagem quanto o de torrefação. Em outras palavras, o gás liberado pelo reator, se tratado adequadamente, se tornará um gás de síntese, capaz de produzir energia elétrica suficiente para alimentar o próprio processo e ainda gerar excedentes, que podem ser vendidos às distribuidoras de energia.

O gás de torrefação, denominado gás produtor, é captado na saída do reator e encaminhado à duas torres de resfriamento e limpeza. Essa limpeza é necessária para transformar o gás produtor em gás de síntese. Eriksson (2012) menciona que nesse processo, muitas impurezas são retiradas do gás, como azoto, halogéneos, enxofre, partículas e alcatrões. Essas impurezas são denominadas “Tares”. De acordo com Calis et al apud Eriksson (2012, p.33), “os tares são constituídos por componentes aromáticos policíclicos com um ponto de ebulição elevado”. Tares precisam ser removidos porque se condensam em partes móveis como turbinas, podendo criar bloqueio e causar danos aos equipamentos. “Os alcatrões também desativam o catalisador utilizado para a produção de combustíveis formando uma camada de sólida de impurezas na superfície do catalisador” (SCHMIDT et al, 2011).

Após a remoção dos “tares”, o gás de síntese, também denominado *Syngas*, alimenta os motores a gás para a geração de energia elétrica renovável. Posteriormente, a exaustão do motor é utilizada para aquecer o reator de torrefação e completar a secagem da biomassa.

3.5. A utilização dos “tares” para o processo de peletização

Após a limpeza do gás de torrefação, um resíduo líquido é gerado: uma mistura de Tar e água. Análises feitas por empresas de torrefação apontam a possibilidade de utilização desse resíduo na produção de pellets, a fim de evitar seu descarte no meio ambiente. Esse produto também pode ser vendido como ácido pirolenhoso, também conhecido como condicionador do solo, muito utilizado na agricultura para melhoria do cultivo e controle de pestes.

4. Análises e discussões

A fim de se comprovar as vantagens do biocarvão, foram realizadas análises técnicas, ambientais e financeiras, que serão apresentadas a seguir. Inicialmente, foi feita uma análise comparativa entre as características técnicas de ambos os combustíveis, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação: Pellets Torrificados x Carvão Mineral

Característica	Pellets Torrificados	Carvão Mineral
Teor de umidade (% de água)	1-5	10-15
Capacidade calorífica (MJ/kg)	20-24	23-28
Voláteis (%db)	55-65	15-30
Carbono fixo (%bd)	28-35	50-55
Densidade aparente (Kg/l)	0.65-0.85	0.80 - 0.85
Densidade de energia volumétrica (GJ/m^3)	15-18.7	18.4-23.8
Cinzas (%db)	0.7-5.0	10-20
Propriedades higroscópicas	Hidrofóbico	Hidrofóbico
Degradação biológica	Não	Não
Requisito de moagem	Clássica	Clássica
Requisito de manuseio	Fácil	Fácil
Consistência do produto	Alta	Alta

Fonte: Adaptado de IEA (2012b)

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, entende-se de modo geral, que o biocarvão apresenta características de combustão similares e em alguns casos, superiores as do carvão mineral. Muitos fatores são determinantes para a qualidade de combustão do produto, como por exemplo, o teor de umidade, capacidade calorífica, reatividade e percentual de voláteis.

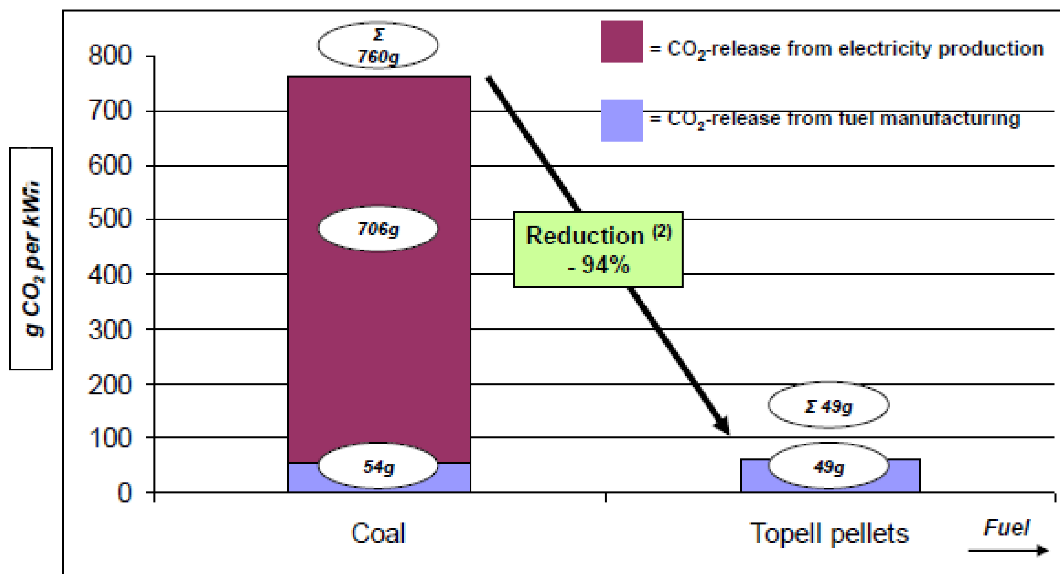
A capacidade calorífica do biocarvão é muito próxima a do carvão mineral, enquanto o teor de umidade e percentual de cinzas mostra-se significativamente menor, o que é uma grande vantagem em termos de consumo de energia para secagem e eficiência, respectivamente.

A evaporação de material volátil contribui para uma maior reatividade do produto torrificado, resultando em chamas mais curtas e intensas durante a queima.

Com relação a características físicas e de manuseio, também mostradas na Tabela 3, o produto mostra-se análogo ao carvão mineral.

Além disso, a empresa realizou um estudo sobre as emissões de dióxido de carbono para ambos os combustíveis e constatou que pode haver uma redução de até 94% das emissões de CO_2 por KW de energia elétrica produzida quando se utiliza o biocarvão nas termelétricas. O resultado desse estudo está resumido no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Emissões de por KW de energia produzida



Fonte: Topell (2011)

Ao analisar um produto como o biocarvão, torna-se necessário compreender não somente os seus impactos técnicos e ambientais, mas também de modo muito especial, os impactos financeiros que ele traz ao mercado. A International Energy Agency (2012a) apresenta uma comparação entre os preços de mercado do carvão e biocarvão.

De acordo com o estudo, considerando o preço final do carvão mineral como 140 USD / ton, o valor pago por sua energia térmica seria 4,7 USD / GJ. Quando se trata de biocarvão, esse valor torna-se relativamente maior – 9,81 USD / GJ. Entretanto, avaliando por um viés de fator de emissão de CO_2 específico para carvão (98 kg / GJ), isso faz com que as pastilhas torrificadas sejam competitivas, cerca de 50 USD por tonelada de CO_2 . Esta é por ora, uma das opções as mais baratas para a mitigação do CO_2 . É importante ressaltar que esses preços são fruto de estimativas feitas por empresas e institutos do mercado internacional, pois o custo final deve ser resultado de uma combinação entre oferta e demanda que só será realmente estabelecida quando uma significativa produção comercial for iniciada.

Com relação à capacidade de produção, esta irá variar muito de uma empresa para a outra. Entretanto, apenas para fins de demonstração, um reator comum pode gerar até 15.000 toneladas métricas de biocarvão por ano e 1.1 MW de energia elétrica sustentável para alimentar o próprio sistema (CLEAN ELECTRICITY GENERATION, 2017). Considerando uma fábrica com 10 reatores, essa geração pode chegar a 150.000 toneladas métricas por ano e produzir 11 MW de energia limpa para o sistema.

5. Desafios técnicos

Novas tecnologias geralmente geram muitas expectativas em todo o mercado, entretanto, carregam muitos desafios que precisam ser vencidos para que o produto possa de fato ser comercializado. A International Energy Agency (2012) destaca os seguintes desafios para a tecnologia de torrefação:

a) Estocagem – O produto precisa de alto controle de tamanho e umidade para que a eficiência máxima seja alcançada;

b) Tratamento dos gases de torrefação – É necessário um constante acompanhamento para garantir que o sistema funcione de forma correta e segura, sem comprometer a saúde dos trabalhadores e integridade do meio ambiente;
c) Manter a eficiência do sistema e qualidade do biocarvão – Processos incipientes sempre estarão mais susceptíveis a variações e não conformidades. Por esse motivo, é necessário garantir um alto controle de todo o fluxo, incluindo a realização de procedimentos diários, tais como comissionamento, monitoramento e manutenção de equipamentos, testes diversos e avaliações amostrais do produto final.

6. Questões regulatórias

A torrefação para a produção de biocarvão ainda não é uma tecnologia difundida no Brasil. Sendo assim, as questões regulatórias aqui apresentadas são baseadas em pesquisas americanas e européias. Conforme destaca a International Energy Agency (2012a), para que a comercialização do biocarvão ocorra no mundo de forma legal, os órgãos ambientais e governamentais deverão estipular padrões relacionados a tratamento de resíduos, descarte do produto, classificações de combustíveis, desenvolvimento de critérios de sustentabilidade, além de sérias considerações relacionadas à segurança na produção, transporte, manuseio e armazenagem do produto.

Padrões internacionais como a *International Organization for Standardization* (ISO), por exemplo, deverão ser incorporados futuramente à comercialização do biocarvão, a fim de garantir maior clareza e segurança às negociações.

7. Perspectivas para o Brasil

Atualmente, mais de 50 empresas estão trabalhando no desenvolvimento da tecnologia de torrefação para a produção de biocarvão e estão concentradas nos Estados unidos e Europa. De um modo geral, essas organizações são relativamente pequenas (têm entre 10 e 20 funcionários) e possuem recursos financeiros limitados. Por essa razão, elas dependem de investidores externos para que o negócio se desenvolva efetivamente.

De acordo com o portal Bioenergy News (2015), o Instituto Ambiental de Mato Grosso do Sul (Imasul) concedeu licenças para um total de 535,75 MW de projetos de biomassa à base de eucalipto. Os 10 empreendimentos, com investimento total de US$ 734 milhões, estarão localizados nas cidades de Ribeirão do Pardo, Aparecida do Taboado e Sonora. Todos os projetos estão programados para iniciar suas operações até o início de 2021.

As licenças preliminares foram concedidas às empresas locais Guarany Energetica, Eldorado, Florestas do Paraná Energia e Cia Positiva de Energia. Atualmente, o Mato Grosso do Sul tem uma produção excedente de cerca de 360.000 ha (889.579 acres) de eucalipto. Juntas, as usinas vão consumir 225.000ha, deixando 135.000ha para outros projetos, de acordo com a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico (2015).

É importante ressaltar a relevância desse investimento para a construção de um país mais sustentável e tecnológico. A instalação dos empreendimentos de torrefação contribuirá para uma produção mais limpa de energia (P+L) e conduzirá o Brasil à economia de baixo carbono, fundamental para que o país se mantenha competitivo diante do mercado internacional.

Além disso, a tecnologia cooperará fortemente para que o Brasil alcance as metas apresentadas na 21º Conferência do Clima das nações Unidas – COP 21, realizada em Paris, no ano de 2015. No INDC, documento oficial apresentado durante o evento, o país se compromete a reduzir a emissão dos gases do efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, até o ano de 2025.

Finalmente, ao atingir essas propostas, o processo de torrefação contribuirá para a redução das alterações climáticas provenientes da degradação ambiental desenfreada, garantindo um futuro melhor para as próximas gerações.

8. Considerações finais

A produção de energia através da biomassa mostrou-se altamente vantajosa para o mercado brasileiro, não apenas pelos grandes benefícios ambientais que ela oferece, mas também pela sua grande contribuição para que o Brasil se mantenha competitivo em projetos ligados à economia de baixo carbono.

Considerando a produção de biocombustível e energia elétrica pelo processo de torrefação, pode-se dizer que além das vantagens já conhecidas pelo uso da biomassa, inúmeras outras podem ser observadas. Tomando como base a análise realizada nesse artigo, pode-se afirmar que o processo de torrefação possui vários dos benefícios que as empresas modernas buscam, como por exemplo, eficiência, sustentabilidade e ciclos de produção fechados, sem descarte de poluentes no meio ambiente.

Assim, o sistema de torrefação apresenta-se como uma solução promissora para a co-geração de energia elétrica no Brasil e para a redução dos problemas ambientais acarretados pelo setor tradicional de energia. Entretanto, os órgãos públicos e privados devem trabalhar na regulamentação e organização do setor elétrico, de modo a viabilizar a comercialização dessa energia e possibilitar novas formas de abastecimento que contribuirão para um desenvolvimento tecnológico sustentável e melhor qualidade de vida para as gerações futuras.

Para pesquisas futuras sobre o tema, sugere-se desenvolver um estudo de viabilidade juntamente de um planejamento estratégico da tecnologia do biocarvão no mercado brasileiro, considerando as limitações técnicas, políticas e econômicas do país. Esta pesquisa será fundamental para que o país utilize o recurso de forma eficiente e alcance uma atividade sustentável e lucrativa.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2005. Brasília: Aneel, 2005. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf > Acesso em: 10 Dez 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf> Acesso em: 11 Dez 2016.

BERRY, R.; HAMMER, R.; **Alaska Torrefaction Syposium**, 2012.

BRASIL. **Ministério das Relações Exteriores**. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção: Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Itamaraty, 2015. Disponível em: < http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf> Acesso em: 14 Fev. 2017.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro: Dez. 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/boletins-2017> Acesso em: 05 Jan. 2017.

BIOENERGY NEWS. Brazil state grants preliminary licenses to 536MW of biomass projects, 2012. Disponívelem:<http://www.bioenergynews.com/display_news/9961/Brazil_state_grants_preliminary_licenses_to_536MW_of_biomass_projects/>. Acesso em: 20 Jan. 2017.

CLEAN ELECTRICITY GENERATION UK LTD. CEG Proprietary Torrefaction Reactor Technology. Leicester: CEG . Disponível em: <www.cegeneration.com>. Acesso em: 03 Jan. 2017.

ERIKSSON, ANNA-MARIA. Torrefaction and gasification of biomass: The potential of torrefaction combined with entrained-flow gasification for production of synthesis-gas. Tese de Mestrado. **KTH Royal Institute of Technology**, Estocolmo , 2012. [Supervisor: Rolando Zanzi Vigouroux].

GOLDEMBERG J., LUCON O. Energia e Meio Ambiente no Brasil. São Paulo, **Estudos Avançados** , v. 2, n. 59, 2007. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf> Acesso em: 03 jan. 2017.

GREEN PEACE. Energias Renováveis contra o Aquecimento Global. Disponível em: <http://www.greenpeace. org /brasil/pt/ O-que-fazemos/Clima-e-Energia/> Acesso em: 20 Jan. 2017.

GRUPO NEOENERGIA. Matriz Energética, 2013. Disponível em: <http://www.termope.com.br/Pages /O%20Setor %20El%C3%A9trico/matriz-energetica.aspx>. Acesso em: 06 Dez. 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Bioenergy Task 32: Status overview of torrefaction technologies. Dezembro, 2012a. Disponível em: < http://www.ieabcc.nl/publications/IEA_Bioenergy_ T32_Torrefaction_ review.pdf > Acesso em: 20 Nov. 2016

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Bioenergy task 40: Possible effect of torrefaction on biomass trade. Novembro, 2012b. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/256088251_Possible_ effect_of_torrefaction_on_biomass_trade > Acesso em: 22 Nov. 2016.

MARCONATO, Mariane Silva; SANTINI, Giuliana Aparecida. Alternativas para a Geração de Energia Renovável no Brasil: a opção pela biomassa. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia**, Administração e Sociologia Rural, 2008. Rio Branco - Acre. P. 12.

MATO GROSSO DO SUL. **Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico**. Imasul entrega licenças para 10 termelétricas de Biomassa que vão investir R$ 2,7 bi em MS. Dez. 2015. Disponível em: <http://www.noticias.ms.gov.br/imasul-entrega-licencas-para-10-termeletricas-de-biomassa-que-vao-investir-r-27-bi-em-ms-e-gerar-535-mw-de-energia/>. Acesso em: 05 Jan. 2017.

PRINS, Mark J; PTASINSKI, Krzysztof J; JANSSEN, Frans J.J.G. More efficient biomass gasification via torrefaction. **17th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation, and Environmental Impact of Energy on Process Systems.** v. 31, p. 3458–3470, August, 2005.

SCHMIDT, S. ; GIESA, S. ; DROCHNER, A. ; VOGEL, H. Catalytic removal from bio-syngas-Catalyst development and kinetic studies. **Catalysis today**, v. 175 , p. 442-449, july, 2011.

SOARES, Edvaldo. **Metodologia científica: lógica, epistemologia e normas**. São Paulo: Atlas, 2003.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. Energia limpa: setor de biomassa ganha força no País. Rio de Janeiro, nov. 2015. Disponível em: <http://sna.agr.br/energia-limpa-setor-de-biomassa-ganha-forca-no-pais/>. Acesso em: 01 de Fev. 2017.

TOPELL ENERGY. Torrefaction Pinciple. 2011. Netherlands. 18 slides: color

TUMULURU, JAYA SHANKAR; SOKHANSANJ, SHAHAB; HESS, J. RICHARD; WRIGHT, CHRISTOPHER T. ; BOARDMAN, RICHARD D. A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications**. Industrial Biotechnology**, v. 7 n. 5. p.384-401. Out. 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR –UNICA. Bioeletricidade da Cana, 2017. Disponível

em:< http: //www.unica.com.br/ documentos/documentos/sid/27116062/>. Acesso em: 11 Jan. 2017.